Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 817-827.

ASPECTOS DA CIRCULAÇÃO SUPERFICIAL E TRANSPORTE DE CALOR NA FRENTE POLAR ANTÁRTICA REVELADOS POR DERIVADORES RASTREADOS POR SATÉLITES

MILTON KAMPEL [1]

[1]INPE--Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201- 097 São José dos Campos, SP, Brasil
milton@ltid.inpe.br

Abstract. The first 300 days of the trajectories and sea surface temperature time series of two (3194 and 3193) WOCE standard surface layer drifter deployed during 93/94 and 96/97 Brazilian Antarctic Expeditions, were tracked by NOAA satellites and are used to estimate sea surface layer current (13,60 $cm.s^{-1}$ toward 57º for drifter 3194; 11,52 $cm.s^{-1}$ toward 62º for 3193) and its heat transport on the north side of the Polar Front in the Antarctic Convergence Zone. Both drifter's trajectories contained meanders and occasional loops throughout the 300 days, moving generally northeasterly during the first 150 days and almost easterly after that. The meridional surface layer (15m) heat transport of drifter 3194 was northward at 10,14 $x10^4$ $W.m^2$ and the zonal heat transport was to the east at 15,45 $x10^4$ $W.m^2$. By contrast, the meridional heat transport of drifter 3193 was northward at 2,90 $x10^4$ $W.m^2$ and the zonal heat transport was to the east at 9,63 $x10^4$ $W.m^2$. In the future, we intend to calculate the zonal and meridional heat transport covering the full longitudinal length of the South Atlantic basin.

Keywords: satellite tracked drifters, South Atlantic circulation, heat transport

1 Introdução

Diversos estudos oceanográficos têm sido realizados na região antártica motivados pelo reconhecimento das relações existentes entre os fenômenos e processos naturais que ocorrem na região do Oceano Austral e adjacências, e suas repercussões no ambiente e na evolução do globo terrestre.

A realização de pesquisas científicas na Antártica tem enfatizado a importância do uso de sensoriamento remoto como complemento aos métodos tradicionais de aquisição de dados. O sensoriamento remoto a nível orbital apresenta resolução temporal e cobertura espacial sinóptica incapazes de serem alcançadas com o emprego de navios oceanográficos (Kampel *et al*., 1993).

Bóias e derivadores rastreados por satélites, também têm sido empregados para complementação desses estudos (Garret, 1980; Stevenson *et al*., 1989; Souza & Stevenson, 1993). Comparações entre as velocidades superficiais obtidas a partir de bóias de deriva e outras estimativas da circulação média, como por exemplo, correntes superficiais geostróficas (Krauss & Käse, 1984), demonstram que as velocidades dos derivadores caracterizam bem as correntes superficiais. Outros parâmetros ambientais coletados *in situ* pelas bóias são também utilizados na calibração dos sensores orbitais, além de fornecerem informações sobre a estrutura vertical do oceano, o que não pode ser obtido através de dados de satélites.

Em grande escala (global ou hemisférica), as velocidades superficiais obtidas por derivadores têm sido usadas principalmente, para representar a circulação superficial média e para mapear a distribuição das energias cinéticas média e de vórtices (Piola *et al*., 1987).

Devido a sua localização geográfica e circulação zonal ilimitada, o Oceano Austral atua de forma significativa no balanço de calor planetário. Isto ocorre devido à circulação zonal das águas do Oceano Austral que interagem diretamente com cada uma das principais bacias oceânicas no hemisfério sul, e através de processos de recirculação, com os oceanos do hemisfério norte.

Estimativas do transporte de calor nos oceanos foram realizadas por Sellers (1966) e Emig (1967), entre outros autores, utilizando medidas diretas do transporte de calor meridional pelas correntes marítimas. Sellers (1966) calculou o fluxo de calor meridional médio nos oceanos, incluindo o hemisfério sul, e encontrou fluxos em direção aos polos em torno de 10^{15} W nas latitudes subtropicais. Emig (1967) utilizou mapas de balanços térmicos mais precisos e obteve valores de 0,60 e 0,41 x 10^{15} gcal/s entre os paralelos 30ºS e 40ºS, no Atlântico Sul. A direção do transporte, incluindo o Atlântico Sul, também era do equador para os polos.

Ainda que estes valores forneçam uma ordem de grandeza para o transporte global, resultados mais recentes de outros pesquisadores indicam que o transporte de calor no Atlântico Sul é das altas latitudes em direção ao equador (Bennett, 1978; Hastenrath, 1980; Fu, 1981).

O sistema de correntes superficiais induzidas pelos ventos de Oeste é conhecido como Corrente Circumpolar Antártica (ACC). Através de modelagem numérica, sugere-se que a baroclinicidade e a topografia de fundo são também, muito importantes no desenvolvimento da ACC (Sarukhanyan, 1987). Este sistema de correntes é considerado o único verdadeiramente global, por unir as três maiores bacias oceânicas (Whitworth, 1983). Entretanto, as variações temporais e espaciais da ACC ainda não estão bem documentadas.

Hidrograficamente, a Frente Polar (FP) é o limite setentrional das águas frias (-1,5º - 2,0ºC) encontradas próximas à superfície, formadas por resfriamento durante o inverno (Gordon *et al.*, 1977). O transporte de calor na camada superficial depende diretamente de variações na circulação termohalina e na circulação gerada pelos ventos na região.

O objetivo deste trabalho é caracterizar a circulação superficial na Frente Polar Antártica através de dados obtidos por dois derivadores rastreados por satélites. São estimados os transportes de calor meridional e zonal na parte norte da FP no Oceano Atlântico Sul.

2 Material e Métodos

O Projeto MEDICA, no âmbito do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), conduziu vários experimentos na região da Península Antártica para estudar a circulação oceânica superficial em meso-escala. Com o objetivo de estudar as variações meridionais e zonais das correntes superficiais e transportes de calor associados, na parte norte da FP na zona de Convergência Antártica, foi lançado (em 13/11/93) um derivador de baixo custo padrão WOCE (World Ocean Circulation Experiment) durante a XII Expedição Antártica brasileira (Stevenson & Souza, 1995).

O mesmo experimento foi repetido com o lançamento de um segundo derivador (em 19/11/96), durante a XV Expedição Antártica, a fim de observar as variações espaciais e interanuais entre os dois experimentos (Kampel *et al.*, 1997). Ambos os experimentos consistiram do lançamento de derivadores de baixo custo padrão WOCE na FP da ACC, na extremidade leste da Passagem de Drake. Para identificar a posição da FP, foram realizados

transects meridionais na direção Sul, com o lançamento de perfiladores verticais XBT. A frente termal de -1,5ºC foi utilizada como indicadora da FP (**Figura 1**). Os derivadores foram lançados respectivamente, nas posições 56,1ºS - 55ºW e 58º 19,49'S - 58º 59,65'W.

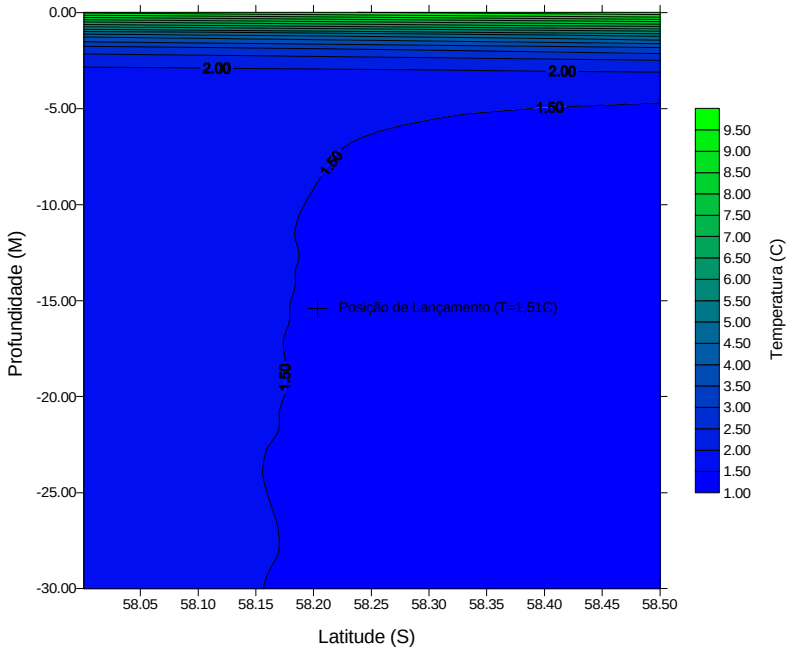


Fig.1 - Perfil vertical XBT para lançamento dos derivadores (T=1,51ºC)

2.1 Dados dos Derivadores

Desde as datas de lançamento em 13 de Novembro de 1993 e 19 de Novembro de 1996, respectivamente, os derivadores têm sido rastreados pelo serviço ARGOS instalado a bordo dos satélites da série NOAA (National Oceans and Atmosphere Administration). Além de fornecer posições geográficas ao longo do tempo, os derivadores são equipados com um termistor capaz de medir a temperatura da água a uma profundidade de 12 cm abaixo da linha d'água média do flutuador (**Figura 2**). Esta temperatura da superfície do mar (TSM) é medida com uma precisão de 0,12º C (YSI, 1993). A vela de arrasto conectada ao derivador é ajustada para uma profundidade de 15 m. Desta forma, considera-se que o derivador fornece informações sobre as correntes horizontais médias da camada superficial (15 m) do oceano.

FIG. 2

Stevenson & Souza (1995) analisaram a trajetória referente aos primeiros 300 dias de transmissão do derivador 3194, lançado em Novembro de 1993. Kampel *et al*. (1997) analisaram a trajetória referente aos primeiros 150 dias de transmissão do derivador 3193, lançado em Novembro de 1996. Neste trabalho são utilizados dados referentes aos primeiros 300 dias de transmissão de cada derivador, respectivamente. Foram calculadas as velocidades médias zonais e meridionais e os transportes de calor zonal e meridional.

2.2 Cálculo da Corrente Média

Para o cálculo das velocidades médias das correntes e suas respectivas direções, dividiu-se as trajetórias de ambos os derivadores em 6 janelas sucessivas de 50 dias cada. Foram calculados ***v*** e ***u***, respectivamente as componentes meridional e zonal da velocidade média da corrente (***V***),

através do métdo estatístico de regressão linear simples sobre as séries temporais dos dados de posição dos derivadores referentes a cada uma das 6 janelas.

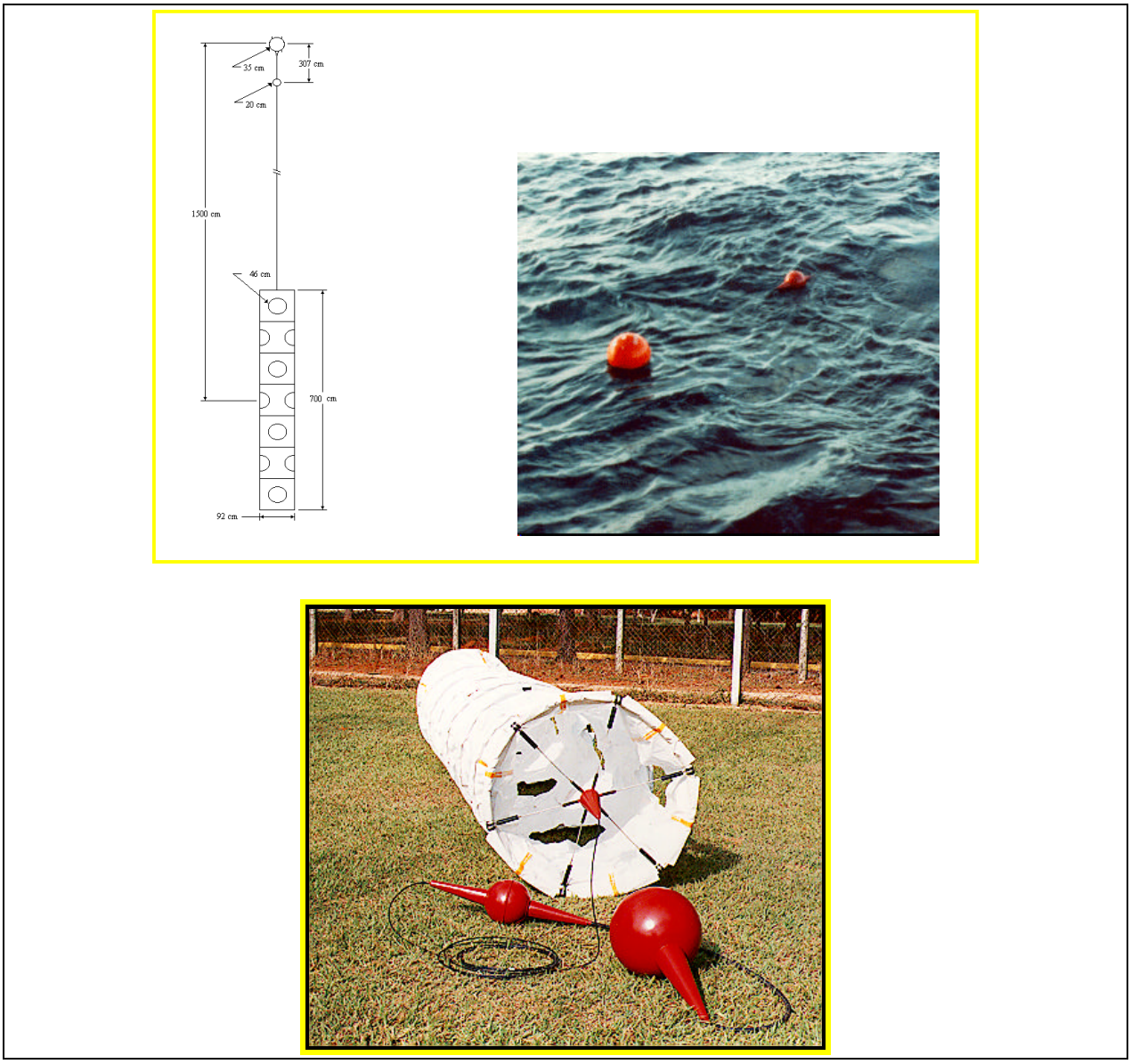


Fig. 2 - Derivador de baixo custo padrão WOCE

A velocidade média da corrente resultante pode então ser calculada por:

$$\boldsymbol{V} = (\boldsymbol{u}^2 + \boldsymbol{v}^2)^{1/2} \text{ cm/s} \qquad (1)$$

A direção da corrente média (***q***), dada em graus trigonométricos, é obtida por:

$$\arctan \boldsymbol{q} = (\boldsymbol{v}/\boldsymbol{u}) \qquad (2)$$

Em seguida, este ângulo é convertido para ângulo geográfico, referente aos pontos cardiais.

2.3 Cálculo dos Transportes de Calor

O transporte de calor na camada superficial do oceano pode ser determinado a partir da seguinte relação:

$$\boldsymbol{H}_{(x,y)} = \int_{-z}^{0} (\rho Cp T \boldsymbol{V}) dz \qquad (3)$$

onde ρ é a densidade da água do mar, Cp é o calor específico da água do mar a uma dada pressão hidrostática, e $\boldsymbol{V}$ e T representam a velocidade horizontal e a temperatura na coluna d'água, respectivamente. Por simplificação, considera-se que na camada de mistura superficial, tanto a temperatura como a velocidade horizontal são constantes. Neste caso, Cp também permanece constante na camada superficial (sua variação nos primeiros 15 m de profundidade é desprezível).

A relação do transporte de calor então fica:

$$\boldsymbol{H}_{(x,y)} = \rho\ Cp\ T\ \boldsymbol{V} \int_{-z}^{0} dz = \qquad (4)$$

$$\boldsymbol{H}_{(x,y)} = \rho\ Cp\ T\ \boldsymbol{V}\ z \qquad (5)$$

Neste trabalho, os valores de $\boldsymbol{V}$ utilizados nos cálculos de $\boldsymbol{H}_{(x,y)}$ foram obtidos a partir das velocidades médias das correntes resultantes em cada uma das 6 janelas de 50 dias (ver ítem 2.2). Similarmente, os valores de T foram obtidos pela média aritmética dos dados de temperatura adquiridos pelos derivadores, dentro de cada janela de tempo, respectivamente.

3 Resultados

A trajetória do derivador 3194 é apresentada na **Figura 3**. Pode-se observar a presença de meandramentos e alguns *loops*, a medida que o derivador se desloca para nordeste. Próximo à 47ºS - 42ºW, aproximadamente, a trajetória passa a ser preferencialmente na direção Leste, alcançando a longitude de 14,3ºW. FIG. 3

As séries temporais de deslocamentos meridional e zonal do derivador 3194, assim como da série temporal de TSM, são mostradas na **Figura 4**. FIG. 4

A **Figura 5** apresenta a trajetória do derivador 3193. Nos primeiros 150 dias, pode-se observar a presença de diversos *loops* e meandramentos, mas com um deslocamento na direção nordeste. A partir de 42ºS - 53ºW, aproximadamente, a trajetória não apresenta praticamente mais nenhum *loop*, tomando a direção Leste até alcançar a longitude de 3,6ºW. FIG. 5

As séries temporais de temperatura e de deslocamentos meridional e zonal do derivador 3193 estão na **Figura 6**. FIG. 6

As velocidades médias, direções e temperaturas para cada uma das janelas de 50 dias, para os dois derivadores, são listadas na **Tabela 1**. TAB. 1

A velocidade resultante mais intensa do derivador 3194 (93/94) ocorreu durante a primeira janela de tempo (22,38 cm/s), quando o derivador se afastou das águas frias da Frente

Polar. Na segunda janela, as velocidades foram baixas devido a presença de *loops* e meandramentos. No período de 50 dias, o derivador quase fechou um vórtice anticiclônico com diâmetro de aproximadamente 200 km. Na terceira janela, o derivador manteve uma velocidade relativamente alta (16,00 cm/s). Na série temporal de temperatura referente a este período e mostrada na **Figura 5**, pode-se notar uma menor variabilidade de curto período, se comparada às outras janelas. A partir da quarta janela, o derivador aparentemente ingressou em outro regime de circulação regional, com ondas de maior amplitude e meandros presentes na sua trajetória.

FIG. 5

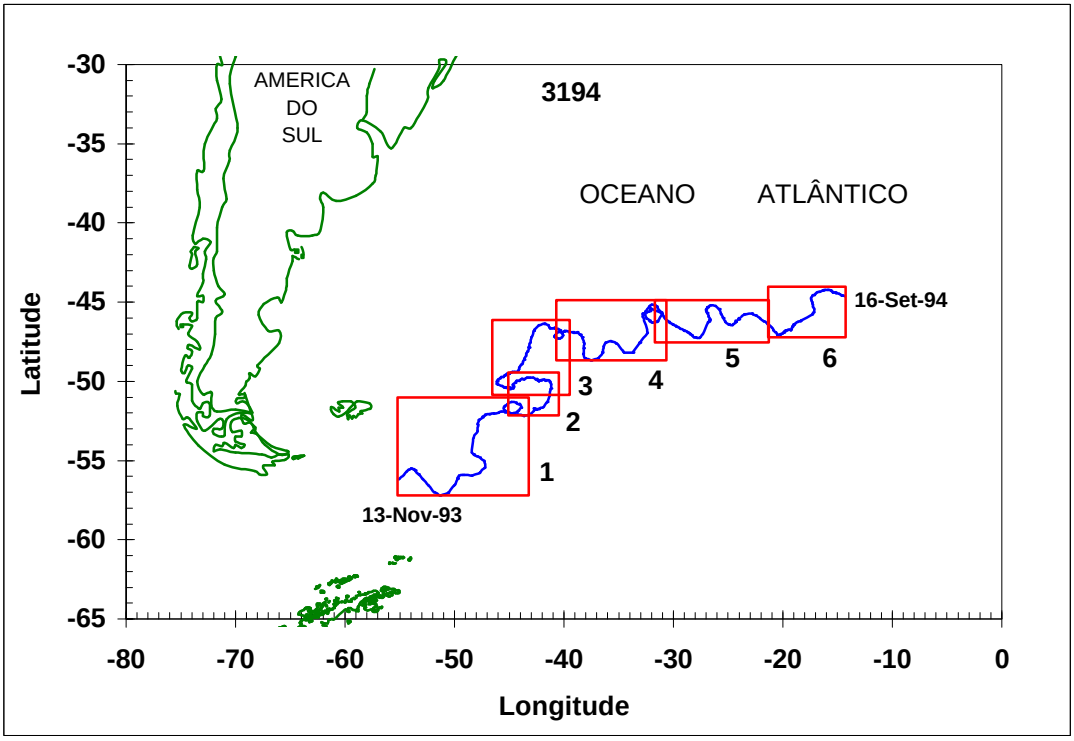


Fig. 3 - Trajetória do derivador 3194 e respectivas janelas de 50 dias.

Tabela 1 - Velocidades médias, direções, temperaturas e transportes de calor superficial para os derivadores 3194 e 3193.

Nº Janela	Nº Obs.	Vel. Meridional (cm/s)	Vel. Zonal (cm/s)	Vel. Resultante (cm/s)	Direção (graus)	Temp. (ºC)	TCU Meridional $x10^4 w/m^2$	TCU Zonal $x10^4 w/m^2$	TCU Resultante $x10^4 w/m^2$
1	164	16,58	15,02	22,38	42	3,81	14,40	13,05	19,44
2	184	3,94	-5,26	6,58	307	6,00	5,39	-7,20	9,00
3	190	10,97	11,64	16,00	47	7,09	17,73	18,82	25,86
4	186	5,72	18,90	19,74	73	6,78	8,84	29,22	30,51
5	211	0,33	16,67	16,67	89	6,14	0,47	23,33	23,34
6	223	8,87	10,89	14,05	51	5,92	11,97	14,70	18,96
1*	598	2,23	5,12	5,59	67	2,80	1,43	3,27	3,57
2*	554	4,57	3,24	5,60	35	5,00	5,21	3,69	6,38
3*	477	4,09	3,61	5,46	41	4,53	4,22	3,73	5,63
4*	418	6,51	18,44	19,55	71	3,43	5,08	15,27	16,09
5*	364	2,41	22,81	22,94	84	4,14	2,27	21,50	21,62
6*	352	-0,67	22,48	22,49	92	2,91	0,44	14,90	14,91

(*) derivador 3193 (96/97) TCU - Transporte de Calor Unitário

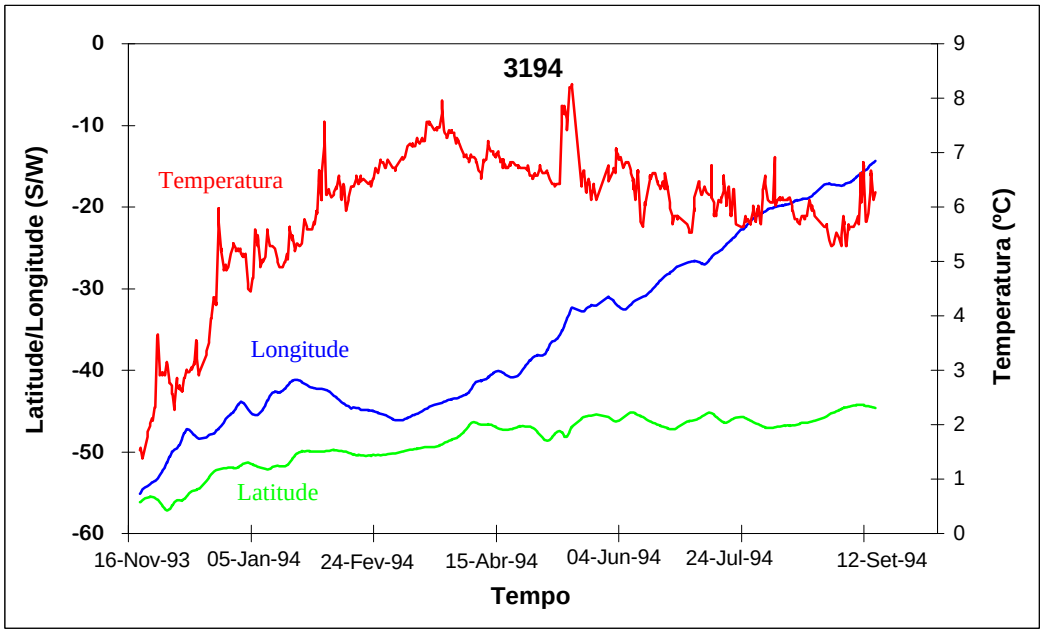


Fig. 4 - Séries temporais de deslocamento e de temperatura do derivador 3194.

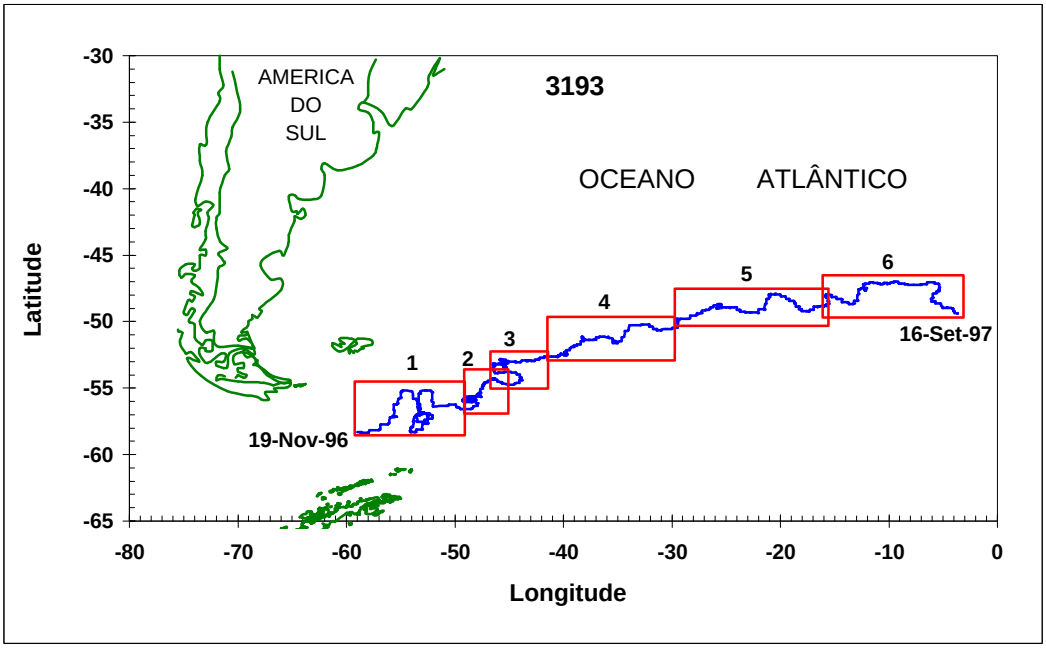


Fig. 5 - Trajetória do derivador 3193 e respectivas janelas de 50 dias.

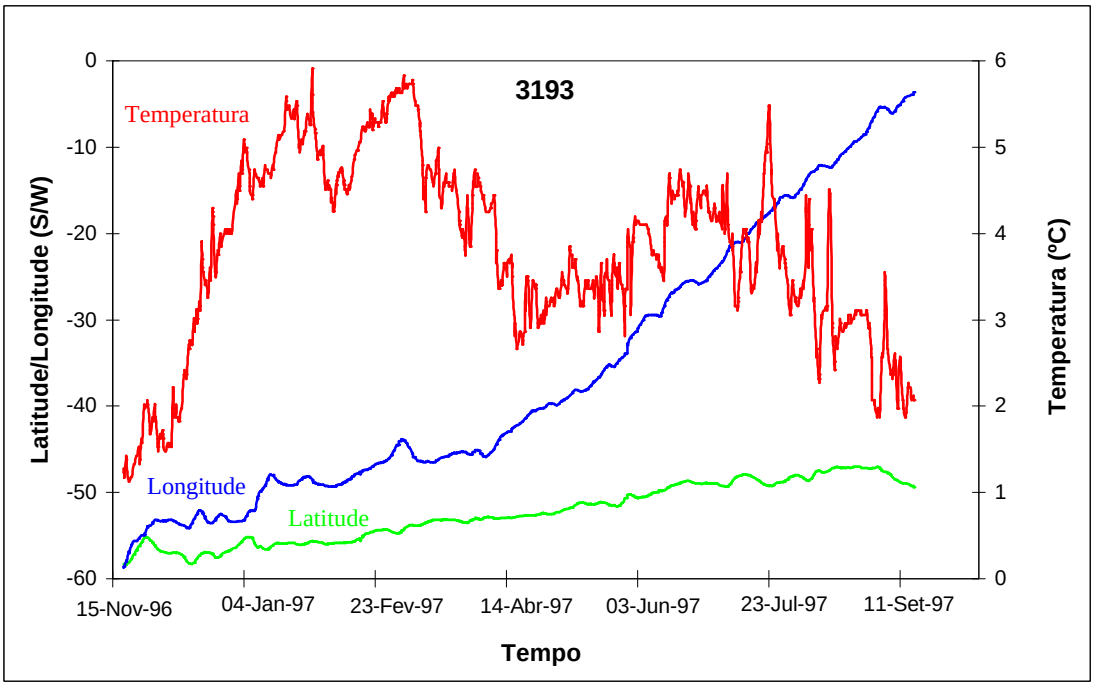


Fig. 6 - Séries temporais de deslocamento e de temparatura do derivador 3193.

As velocidades médias meridional e zonal do derivador 3194 foram de 7,46 cm/s e 11,37 cm/s, respectivamente. A velocidade resultante média foi de 13,60 cm/s, na direção 57º. A temperatura média total foi de 5,96ºC. Pode-se notar também, que em todas as janelas, com exceção da segunda, as velocidades meridionais e zonais são para Norte e Leste, respectivamente.

O derivador 3193 (96/97) apresentou velocidades relativamente mais baixas que o derivador 3194 (93/94), durante as primeiras 3 janelas de 50 dias. Isto ocorreu devido a presença de grandes meandramentos e vórtices na trajetória do derivador 3193 nos primeiros 150 dias. A partir da quarta janela, este derivador passou a apresentar velocidades resultantes mais altas, de até 22,95 cm/s, após ter passado para um outro regime de circulação. Enquanto que suas velocidades meridionais foram decrescendo (6,51 cm/s; 2,41 cm/s e -0,67 cm/s, respectivamente), por outro lado, suas velocidades zonais aumentaram (18,44 cm/s; 22,81 cm/s e 22,48 cm/s, respectivamente). Na última janela, o derivador pode ter retornado para o regime de circulação inicial, registrando temperaturas mais baixas.

As velocidades médias meridional e zonal do derivador 3193 foram de 3,32 cm/s e 11,20 cm/s, respectivamente. A velocidade resultante total foi de 11,52 cm/s, na direção de 62º. A temperatura média total foi de 3,83ºC, portanto mais baixa do que a observada para o derivador 3194 (93/94). De modo geral, tanto os valores médios de velocidades como de temperatura foram mais baixos em 96/97 do que em 93/94. Enquanto que o derivador 3193 (96/97) permaneceu a maior parte do tempo em águas relativamente mais frias de origem sub-antártica, o derivador 3193 (93/94) passou para águas relativamente mais quentes (máximo de 7,1ºC). Enquanto que o derivador 3193 tende a alcançar o extremo meridional do continente africano, o derivador 3194 tende a permanecer em latitudes mais altas.

Na região da Passagem de Drake, a velocidade da corrente superficial é alta (Gordon, 1971; Tchernia, 1980), porém, a ACC tem, em geral, velocidades menores do que 25 cm/s (Gordon, 1971).

Segundo Tchernia (1980), a ação da força de Coriolis e fatores como o regime de ventos ou a influência da topografia de fundo e costeira, fazem com que a circulação da ACC não seja estritamente para Oeste, apresentando uma componente para Norte.

Gordon (1988) evidenciou a presença de meandros e vórtices de meso-escala, assim como variações regionais de baixa frequência na estrutura da ACC. Foram notadas variações temporais e espaciais na direção e intensidade da ACC, revelando uma estrutura complexa e não uniforme características de um fluxo altamente turbulento.

Segundo Bryden (1983), é possível observar a presença de vórtices em diversas regiões do Oceano Austral influindo na dinâmica da circulação circumpolar. Os processos de instabilidade baroclínica seriam a fonte principal de geração destes vórtices. Ainda segundo o mesmo autor, a presença de vórtices na ACC proporciona um mecanismo eficiente para o transporte meridional de várias propriedades.

Os transportes de calor meridional e zonal de ambos os derivadores foram estimados e estão na **Tabela 1**. O transporte de calor meridional do derivador 3194 foi de 10,14 $x10^4$ W/m por metro zonal para norte, ou então de 4,60 $x10^{11}$ W para uma distância de 4532 km. Já o transporte no sentido zonal, foi estimado em 15,45 x 10^4 W/m por metro meridional para leste, ou de 2,23 $x10^{11}$ W entre 57,2ºS e 44,2ºS.

TAB. 1

O transporte de calor meridional do derivador 3193 foi de 2,90 $x10^4$ W/m por metro zonal para norte, ou de 1,78 $x10^{11}$ W para uma distância de 6154 km. O transporte zonal, foi de 9,63 x 10^4 W/m por metro meridional para leste, ou de 1,21 $x10^{11}$ W para uma distância de 1264 km.

A direção da circulação superficial obtida neste trabalho para os dois derivadores concorda com as descrições fornecidas em trabalhos anteriores. Os valores estimados para o transporte de calor no experimento de 96/97 são mais baixos (≅ 50%) do que os valores estimados para 93/94, devido às velocidades médias mais baixas do derivador 3193. Por outro lado, as estimativas obtidas para o derivador 3193 (96/97) são da mesma ordem de grandeza daqueles encontrados por outros autores.

Utilizando a mesma simplificação adotada por Stevenson e Souza (1995) para comparação dos resultados, os valores estimados por Bennett (1978) para o transporte meridional passam a ser 0,63-2,67 $x10^4$ W/m^2, muito próximos dos 2,90 $x10^4$ w/m^2 encontrados neste trabalho para o derivador 3193. Os valores de Hastenrath (1980) foram 5,37 $x10^4$ W/m^2, e os de Fu (1981) foram 3,17 $x10^4$ W/m^2.

Variações interanuais na intensidade das correntes podem explicar as diferenças encontradas entre os valores estimados para os derivadores 3194 e 3193. De fato, as velocidades médias calculadas para o derivador 3193 foram maiores que as calculadas para o derivador 3193. Ainda, as temperaturas médias registradas durante experimento de 93/94 também foram maiores do que durante 96/97. Estes fatores contribuíram para uma elevação dos valores de transporte de calor estimados para o derivador 3194.

Considerações Finais

O conhecimento sobre a circulação geral e o transporte de calor meridional nos oceanos são necessários para um bom entendimento dos processos de troca de calor entre os oceanos e a atmosfera e, também, das mudanças climáticas globais.

No presente trabalho, os primeiros 300 dias das trajetórias e séries temporais de temperaturas associadas, de dois derivadores padrão WOCE lançados na extremidade Leste da Passagem de Drake, foram analisados para revelar alguns aspectos da circulação superficial oceânica na região da Frente Polar Antártica. Ainda que os derivadores não tenham alcançado a borda oriental do Oceano Atlântico Sul, foi possível estimar o transporte de calor meridional ($10{,}14 \times 10^4$ W/m^2 e $2{,}90 \times 10^4$ W/m^2 para os derivadores 3194 e 3193, respectivamente) e zonal ($15{,}45 \times 10^4$ W/m^2 e $9{,}63 \times 10^4$ W/m^2) a partir dos dados de suas trajetórias.

Ainda que dois derivadores seja um número pequeno para caracterizar a circulação de uma região, deve-se considerar a enorme potencialidade dos derivadores de baixo custo rastreados por satélites, em face da escassez de meios flutuantes disponíveis em nosso país.

O ideal seria lançar um conjunto de derivadores na mesma posição geográfica ao mesmo tempo, e/ou lançar pequenos grupos de derivadores na mesma posição, ao longo de um período de tempo maior.

Referências

Bennett, A.F. Poleward heat fluxes in the southern hemisfer oceans, *J. Phys. Oc.*, 8, 785-798, 1978.

Bryden, H.L. The Southern Ocea. In: Robinson, A.R., ed. *Eddies in Marine Science.* Springer-verlag Berlin heidelberg, 1983. p.265-277.

Emig, M. Heat transport by ocean currents, *J. Geophys. Res.*, 72(10), 2519-2529, 1967.

Fu, L.L. The general circulation and meridional heat transport of the Subtropical South Atlantic determined by inverse methods, *J. Phys. Oc.*, 11, 1171-1193, 1981.

Garret, J.F. Availability of the FGGE drifting buoy system data set. *Deep-Sea Research*, 27A,1083-1086, 1980.

Gordon, A.L. Recent physical oceanographic studies of Antarctic waters, *Research in the Antarctic*, xx, 609-629, 1971.

Gordon, A.L. Spatial and temporal variability within the Southern Ocean. In: Sahrhage, D., ed. *Antarctic Ocean and Resources Variability*, Germany, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988. p. 41-56.

Gordon, A.L.; Georgi, D.T.; Taylor, H.W. Antarctic Polar front zone in the Western Scotia Sea - summer 1975, *J. Phy. Oc.*, 7, 309-328, 1977.

Hastenrath, S. Heat budget of tropical ocean and atmosphere, *J. Phys. Oc.*, 10, 159-170, 1980.

Kampel, M.; Costa, M.P.F.; Hungria, C.S.; Setzer, A.W. Avaliação preliminar da utilização de um receptor de imagens orbitais AVHRR/NOAA ara estudos ocenográficos na Antártica. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 10-14 maio, 1993. *Anais.* São José dos Campos, 1993, v.3, p.56-59.

Kampel, M.; Stevenson, M.R.; Assireu, A.T. Heat transport estimates in the surface layer of the Antarctic Polar Front using a satellite tracked drifter - first results. In: 5th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, São Paulo, Sep. 28 - Oct. 2, 1997. *Proceedings.* São Paulo, SBGF, 1997, pp.99-102.

Krauss, W.; Käse, R.H. Mean circulation and eddy kinetic energy in the eastern North Atlantic, *J. Geophys. Res.*, 89, 3407-3415, 1984.

Piola, A.R.; Figueroa, H.A.; Bianchi, A. Some aspects of the surface circulation south of 20ºS revealed by First GARP Global Experiment drifters, *J. Geophys. Res.*, 92(C5), 5101-5114, 1987.

Sarukhanyan, E'.I. *Structure and variability of the Antarctic Circumpolar Current*. New Delhi, India, A.A. Balkema/Rotterdam, 1987. 108p. (Russian Translations Series Nº. 44).

Sellers, W.D. Physical climatology, *The Univ. of Chicago Press*, 272p., 1966.

Souza, R.B.; Stevenson, M.R. Descrição de frentes oceânicas a partir de uma bóia de deriva rastreada por satélite e de dados hidrográficos durante a VII Expedição Antártica Brasileira. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 10-14 maio, 1993. *Anais.* vol.4, 200-209 1993.

Stevenson, M.R.; Inostroza, H.M.; Stech, J.L.; Alonso, E.M.B. Variations in temperature, salinity, density and circulation in Bransfield Strait, 9-14 March, 1985, *Pesq. Antárt. Bras.*, vol.1(1), 45-53, 1989.

Stevenson, M.R.; Souza, R.B. Heat transport in the surface layer east of the Drake Passage estimated from a WOCE drifter - first results. In: *Ciências Espaciais da Amosfera na Antártica*, Medrano, R.A.; Pereira, E.B.; ed., Transect editorial, 117-130, 1995.

Tchernia, P. The Southern Ocean. In: *Descriptive Regional Oceanography*, Pergamon Press, 1980. Chap. 4, p.43-86.

Whitworth, T. III; Nowlin, W.D.; Worley, S.J. The net transport of the Antarctic Circumpolar Current through Drake Passage. *J. Phys. Oc.*, 12(9), 960-971, 1982.

YSI, Inc. Temperature, sensors and probes, Ohio, 91p., 1993.